

پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل آتش‌سوزی در جنگل‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری

چند معیاره

مرتضی احمدی اردکانی*، کارشناس ارشد دانشگاه تهران

محمد رجبی، استادیار دانشگاه تهران

علی سرکارگر اردکانی، استادیار دانشگاه امام حسین (ع)

وصول: ۱۳۹۲/۱۱/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۲۴، صص ۱۹۸-۱۷۱

چکیده

جنگل‌ها یکی از منابع طبیعی مهمی هستند که انسان برای ادامه حیات به آن وابسته است. امروزه جنگل‌ها به دلایل مختلفی از قبیل گرم شدن زمین، بی‌دقتی گردشگران و سوزاندن عمدی درختان توسط افراد محلی برای ایجاد اراضی با قابلیت کشت، دچار آتش‌سوزی شده و بخش زیادی از آن‌ها از بین می‌روند. از فواید مهم جنگل افزایش میزان نفوذ پذیری آب در خاک و ذخیره آن، جلوگیری از فرسایش خاک، تصفیه هوای آلوده و زیستگاه گونه‌های گیاهی و جانوری مختلف است. بدیهی است که نبود جنگل مشکلات زیادی را برای زندگی بشر ایجاد می‌نماید. برای حفظ این منبع مهم و ارزشمند باید از وقوع این حادثه تا حد امکان جلوگیری شود و در صورت وقوع آن به هر دلیلی باید از پیشرفت و گسترش آن جلوگیری گردد. این پیشگیری از آتش‌سوزی و مهار آن در زمان وقوع، نیازمند تعیین مناطق پرخطر آتش‌سوزی و ایجاد تمهیدات لازم برای جلوگیری از گسترش آن است. تاکنون مطالعات مختلفی در رابطه با تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها انجام شده است که از روش تلفیق خطی وزن‌دار، نقشه‌های معیار با هم جمع شده که نتایج مطلوبی حاصل گردیده است. در این پژوهش با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تحلیل‌های مکانی مورد نیاز، نسبت به پیش‌بینی مناطق با ریسک بالای آتش‌سوزی اقدام گردید. روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از پرکاربردترین روش‌های وزن‌دهی است که به طور گسترده استفاده می‌شود و دلیل آن سادگی روش و ساختار سلسله مراتبی آن است که با شکستن مسایل پیچیده به ساده و مقایسه دودویی معیارها با هم به محاسبه وزن‌ها می‌پردازد. در این مقاله از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی و برای تلفیق لایه‌ها از دو روش فازی و میانگین وزنی مرتب شده (OWA) با کمیت سنجه‌های مفهومی فازی، استفاده شده و نتایج حاصل از آن با استفاده از روش جمع کیفی (QS) با یکدیگر مقایسه گردید. به نظر می‌رسد استفاده از روش AHP-OWA برای پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر میزان خطر آتش‌سوزی نسبت به روش فازی از دقت بالاتری برخوردار است. در نهایت بهترین QS برای روش AHP-OWA با آلفای ۴ به دست آمد که با توجه به قرار گرفتن درصد قابل توجهی از پهنه‌های آتش‌سوزی اتفاق افتاده در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر و دقت ۰/۰۸۷۴، QS این روش مقدار بالاتری را نسبت به روش فازی گاما نشان می‌دهد که بیانگر تفکیک بهتر بین پهنه‌های خطر و در نتیجه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر با دقت بالاتری تولید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، آتش‌سوزی جنگل، AHP، فازی، Fuzzy_OWA.

مقدمه

یکی از خطرهای که در حال حاضر جنگل‌های ایران و جهان را تهدید می‌کند، آتش سوزی جنگل‌هاست. اگر به این پدیده که به صورت طبیعی و یا به صورت عمدی اتفاق می‌افتد توجهی نشود در چندین دهه آینده جهان با معزل بزرگ کمبود جنگل مواجه خواهد شد. از فواید مهم جنگل می‌توان به مواردی از قبیل افزایش نفوذ پذیری آب در خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، تصفیه هوای آلوده، زیستگاه گونه‌های گیاهی و جانوری و... اشاره کرد. آتش سوزی باعث از بین رفتن چرخه طبیعت و گونه‌های جانوری و گیاهی شده و باعث آلودگی هوا و فرسایش خاک نیز می‌شود. از این رو برای جلوگیری از وقوع این پدیده باید مناطقی که دارای پتانسیل آتش سوزی هستند را شناسایی و تمهیدات لازم برای جلوگیری از آتش سوزی به عمل آورد. از طرف دیگر برای استفاده درست و به جا از تجهیزات اطفاء حریق باید مناطقی که در زمان وقوع آتش سوزی، گسترش حریق در آنها نسبت به مناطق دیگر بیشتر است را شناسایی نمود تا بتوان حداکثر از تجهیزات اطفاء حریق بعمل آید. عوامل بسیاری باعث افزایش پتانسیل آتش سوزی و گسترش آن در یک منطقه می‌شود. در این مقاله با تفکیک این دو موضوع، فقط به بررسی مناطق دارای پتانسیل آتش سوزی پرداخته می‌شود. در این پژوهش عواملی مهمی که در ایجاد مناطق با پتانسیل آتش سوزی بالا مؤثر هستند مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که عبارتند از: تراکم درختان، ارتفاع منطقه، جهت شیب منطقه، فاصله از جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی، دما در منطقه،

بارش در منطقه. با توجه به این که هر یک از عوامل ایجاد آتش سوزی دارای اهمیت مشخصی هستند، ما باید برای تهیه نقشه پهنه‌بندی مناطق پرخطر، به هر یک از عوامل مؤثر وزنی اختصاص دهیم و لایه اطلاعاتی را با یکدیگر تلفیق نماییم. لازمه این کار استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش‌ها با توجه به نحوه وزن دهی لایه‌ها و تلفیق آنها، متنوع هستند. یکی از روش‌های وزن دهی که به خاطر سادگی و استفاده از نظر کارشناسان به صورت مقایسه زوجی دارای کاربرد زیادی است، روش ساختار سلسله مراتبی است، که در این پژوهش برای وزن دهی معیارها از آن استفاده شده است. برای تلفیق لایه‌ها از روش تلفیق فازی گاما و روش میانگین وزنی مرتب شده^۱ با کمیت سنج‌های مفهومی فازی استفاده شد.

ازرا ارتن^۲ (۲۰۰۴) در پارک جنگلی کشور ترکیه عوامل مؤثر در آتش سوزی و گسترش آن به پنج عامل اصلی تقسیم نموده است. سپس از هر عامل یک نقشه با پنج طبقه اهمیت تهیه و با توجه به اهمیت هر عامل یک عدد به عنوان ضریب در لایه نقشه ضرب نموده و در نهایت لایه‌ها را با هم جمع کرده است. نقطه قوت این روش سادگی و سرعت در پیاده سازی و ضعف آن این است که برای تعیین وزن هر معیار از روش خاصی استفاده نکرده و به صورت تجربی برای هر معیار عدد وزن اختصاص داده شده است. همچنین از روش تلفیق خطی وزن دار برای تلفیق معیارها استفاده کرده است که روش قدرتمندی به حساب نمی‌آید.

1 Ordered Weighted Averaging

2 Esra Erten

دائو تی تان هوین^۱ (۲۰۰۸) برای تهیه نقشه مناطق پرخطر آتش سوزی در یکی از ایالت‌های شمال غرب ویتنام عواملی که در محاسبات شرکت داده است را به چهار دسته تقسیم و از هر کدام از عوامل یک نقشه با هشت کلاس با توجه به خطر آتش سوزی تولید نموده است. لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده توسط نامبرده عبارتند از: نوع پوشش گیاهی، شیب، جهت شیب و راه‌های دسترسی. برای هر کدام از نقشه‌ها براساس اهمیت وزن محاسبه شده و در لایه مورد نظر ضرب و نقشه مناطق پرخطر آتش سوزی تهیه گردیده است.

نقطه قوت این پژوهش این است که علاوه بر سادگی برای تعیین وزن معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی^۲ استفاده کرده و ضعف آن این است که از روش تلفیق خطی وزن دار برای تلفیق معیارها استفاده کرده است که روش قدرتمندی به حساب نمی‌آید.

محمدی و همکاران (۱۳۸۹)، مناطق با ریسک بالای آتش سوزی شهرستان پاوه استان کرمانشاه مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این پژوهش معیارهای مؤثر در ایجاد و گسترش آتش سوزی را به ۵ معیار توپوگرافی، عوامل اقلیمی، عوامل انسانی، فاصله از رودخانه و تیپ گیاهی تقسیم کرده‌اند. این معیارها با توجه به نوعشان به ترتیب به زیرمعیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، دما، بارندگی، فاصله از جاده، تعداد جمعیت تقسیم شدند. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن‌های مربوطه هر کدام از معیارها و زیرمعیارها به دست آمد و نقشه‌های مربوطه با روش

Index Overlay با یکدیگر تلفیق شدند. در نهایت ۹۰ درصد آتش سوزی‌های اتفاق افتاده در مناطق پرخطر نقشه تهیه شده قرار گرفتند. نقطه قوت این پژوهش این است که برای تعیین وزن معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده و معیارهای تأثیرگذار بیشتری را در آتش سوزی لحاظ کرده است و ضعف آن این است که از روش همپوشانی شاخص برای تلفیق لایه‌ها استفاده کرده است. این روش با تقسیم بندی هر معیار به چند کلاس زیر مجموعه خود باعث عدم توانایی در تعیین تغییرات درست وزنی در مرز کلاس‌های نقشه‌های معیار می‌شود (احمدی گیوی، ۱۳۸۸). البته باید در نظر داشت که این روش به دلیل اختصاص وزن به هر طبقه از نقشه‌های معیار از روش تلفیق خطی وزن دار دارای قدرت بیشتری است.

اکبری و همکاران (۱۳۸۶)، با استفاده از سه عامل شیب، جهت شیب، و NDVI مدلی ساده و سریع برای تهیه نقشه ریسک آتش سوزی در نواحی جنگلی ارایه داده‌اند و با فرموله کردن عوامل فوق و اعمال آن بر روی تصویر ماهواره ای مناطق با ریسک بالا مشخص شده است. نقطه ضعف این پژوهش لحاظ کردن تعداد کمی از معیارهای تأثیرگذار در آتش سوزی است که نقشه پایانی دقیقی را ارایه نمی‌دهد.

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه در محدوده ۲۹° ۵۹' تا ۴۶° ۵۳' ۴۶° ۵۹' طول شرقی و ۷° ۴۴' ۳۳° تا ۵° ۲۴' ۳۴° عرض شمالی، در جنوب استان کرمانشاه واقع شده است که وسعتی معادل ۱۷۵۰ کیلومتر مربع است. در

محمودی و همکاران (۱۳۸۹)، مناطق با ریسک بالای آتش سوزی شهرستان پاوه استان کرمانشاه مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این پژوهش معیارهای مؤثر در ایجاد و گسترش آتش سوزی را به ۵ معیار توپوگرافی، عوامل اقلیمی، عوامل انسانی، فاصله از رودخانه و تیپ گیاهی تقسیم کرده‌اند. این معیارها با توجه به نوعشان به ترتیب به زیرمعیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، دما، بارندگی، فاصله از جاده، تعداد جمعیت تقسیم شدند. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن‌های مربوطه هر کدام از معیارها و زیرمعیارها به دست آمد و نقشه‌های مربوطه با روش

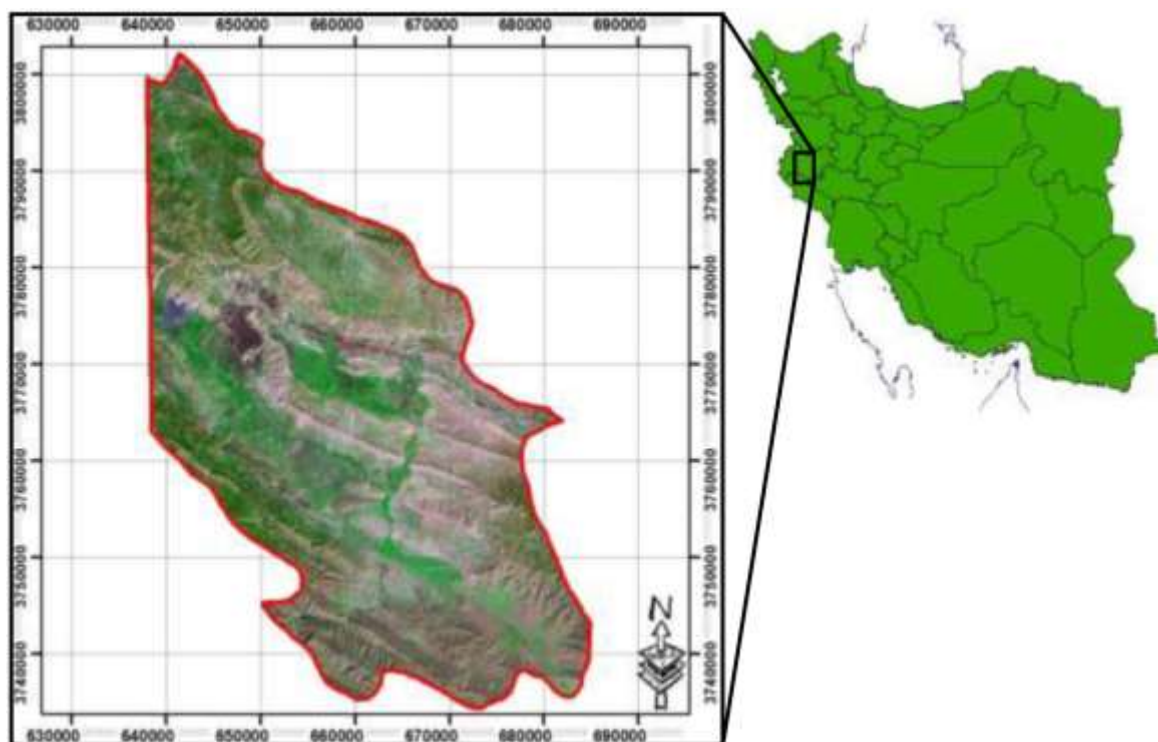
۱ Dao Thi Thanh Huyen
2 Analytic Hierarchy process

در منطقه، از نقشه‌های مناطق مسکونی، راه‌های دسترسی، تراکم درختان، برای شیب منطقه، ارتفاع منطقه، دما منطقه و بارش منطقه استفاده گردید که پس از آماده سازی داده با استفاده از نرم افزار ArcGIS9.3 تجزیه و تحلیل اطلاعات صورت گرفت.

نقشه مناطق مسکونی، نقشه راه‌های دسترسی و مدل رقومی زمین از مرکز GIS و سنجش از دور نیروهای مسلح اخذ گردید و نقشه تراکم درختان از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه گشت. اطلاعات مربوط به دما و بارش در منطقه هم از سایت سازمان هوا شناسی کشور برگرفته شد.

این منطقه در سال‌های اخیر آتش سوزی‌های قابل ملاحظه‌ای اتفاق افتاده است. میزان بارندگی طبق اطلاعات گرفته شده از سایت سازمان هواشناسی کشور، از ۲۷۰ تا ۵۰۰ میلی متر از سالهای ۸۵ تا ۸۹ متغیر بوده است. بیشترین آتش سوزی این منطقه طبق تصاویر اخذ شده از تصاویر ماهواره مودیس، در دوره ۵ ساله از سال ۸۵ تا ۸۹ در فصل پاییز به تعداد ۳۸ مورد است که بیشترین آن برای مهر ماه با تعداد ۲۵ مورد بوده است.

با توجه به نظرات کارشناسی و مطالعه منابع داخلی و خارجی و همچنین بررسی داده‌های موجود



شکل (۱) تصویر Landsat منطقه مورد مطالعه

مسأله قرار می‌گیرد. در سطح دوم، معیارها (اهداف جزئی مسأله) قرار می‌گیرند. در سطح سوم زیر معیارهای مسأله قرار می‌گیرند. در سطح چهارم هم

ساختار روش AHP:

از نگاه کلی ساختار سلسه مراتبی AHP از چهار سطح تشکیل شده است. در سطح اول هدف نهایی

شناسایی کرده و به عنوان سطح دوم ساختار قرار می‌دهیم. اگر معیارهای شناسایی شده دارای زیر معیار باشند آنها را نیز به ساختار اضافه می‌کنیم.

۲- تشکیل ماتریس‌های زوجی برای معیارها و زیر معیارهای مربوط به هر معیار: در این مرحله برای بیان میزان اهمیت هر معیار نسبت به معیار دیگر از اعداد ۱ تا ۹ استفاده می‌شود که هر کدام از آنها بیانگر میزان اهمیت خاصی است. در جدول زیر عبارات بیانی متناظر با هر عدد آورده شده است.

گزینه‌ها (که در بحث‌های مکانی، لایه‌ها در این قسمت قرار می‌گیرند) قرار می‌گیرند. در این ساختار وجود زیرمعیارها اجباری نیست و یک یا چند معیار می‌توانند فاقد زیرمعیار باشند. ماتریس‌های زوجی در سطح دوم و سوم به طور جداگانه تشکیل می‌شوند و فرایند وزن دهی آنان جداگانه صورت می‌گیرد.

شرح انجام مراحل روش AHP:

۱- ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی: در این مرحله معیارهای موثر در تصمیم‌گیری مسأله را

جدول (۱) جدول عبارات بیانی AHP و مقادیر عددی معادل آنها

مقادیر عددی	ترجیحات
۹	کاملاً در اولویت
۷	اولویت بسیار زیاد
۵	اولویت زیاد
۳	اولویت متوسط
۱	اولویت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸	اولویت بین فواصل فوق

ناسازگاری تعیین می‌شود. برای محاسبه نرخ ناسازگاری از فرمول زیر استفاده می‌کنیم.

رابطه ۱

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1}$$

رابطه ۲

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

که در آن λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه دوتایی، و n ابعاد ماتریس است. RI یک

۳- محاسبه نرخ ناسازگاری: مفهوم سازگاری قرار از این است که اگر معیار A ، n برابر B مهم باشد و معیار B ، m برابر C مهم باشد، آنگاه معیار A ، nm برابر معیار C اهمیت دارد (حسینعلی، ۱۳۸۵، صفحه ۳۵). اگر در ماتریس‌های زوجی این رابطه وجود داشته باشد ماتریس سازگار است و در غیر این صورت ماتریس ناسازگار است. در اغلب موارد قضاوت تحلیل‌گران ناسازگار است، ناسازگار تا حد معمولی قابل قبول است و این حد توسط نرخ

صورت زیر تعریف می‌شود (Boroushaki & Others, 2008, page 403):

رابطه ۳

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{u_j \cdot v_j}{\sum_{j=1}^n u_j \cdot v_j} \right) z_{ij}$$

که در آن $z_{i1} \geq z_{i2} \geq \dots \geq z_{in}$ از مقادیر سلولی لایه‌های معیار موجود که به صورت نزولی مرتب شده‌اند، به دست آمده است و u_j همان وزن‌های معیار (w_j) هستند که آنها با توجه به z_{ij} مرتب شده‌اند (Boroushaki & Others, 2008, page 403). در این مرحله می‌توانیم از وزن‌های معیاری که از روش AHP به دست آمده است استفاده کنیم.

ویژگی اصلی روش OWA این است که با تغییر در وزن‌های ترتیبی آن می‌توانیم یک سری عملگر، از جمله عملگرهای مخصوصی مثل OR و AND و WLC را تولید کنیم (Boroushaki & Others, 2008, page 403). یکی از عناصر بحرانی روش OWA روش به دست آوردن وزن‌های ترتیبی است. روش‌های مختلفی برای به دست آوردن وزن‌های ترتیبی وجود دارد که یکی از آنها روش کمیت سنج‌های مفهومی فازی است (Meng & Others, 2011, page 52).

ترکیب OWA با کمیت سنج‌های مفهومی فازی

در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره روش‌هایی وجود دارند که می‌توان با بیان یک عبارت به ترکیب نقشه‌های معیار موجود پرداخت. این عبارات می‌توانند عباراتی از قبیل "اکثر معیارها باید برآورده شوند" یا

شاخص تصادفی است که مقدار آن به وسیله ماتریس‌هایی که اعداد آن کاملاً تصادفی انتخاب شده‌اند، به دست آمده است. CR نرخ ناسازگاری است که براساس قانون ساعتی اگر کمتر از ۰/۱ باشد میزان ناسازگاری نظرات قابل قبول است و اگر از ۰/۱ بیشتر باشد، باید در ماتریس مقایسه زوجی تجدید نظر شود.

روش تلفیق OWA

OWA یکی از اپراتورهای تلفیق چند معیار است که در سال ۱۹۸۸ توسط یاگر^۱ توسعه پیدا کرد (Boroushaki & Others, 2008, page 403). این روش دارای دو نوع وزن است، یکی وزن معیار و دیگری وزن ترتیبی. وزن معیار اهمیت نسبی یک معیار نسبت به معیار دیگر را نشان می‌دهد و در یک لایه اطلاعاتی برای تمام سلول‌های آن یکسان است (Boroushaki & Others, 2008, page 403). اما وزن ترتیبی به صورت یک مجموعه هستند که تعداد اعضای آن برابر تعداد لایه‌های معیار موجود است. به ازای هر سلول در لایه رستر نهایی یک مجموعه وزن ترتیبی وجود دارد. این وزن‌ها از مقادیر سلولی لایه‌های معیار موجود که به صورت نزولی مرتب شده‌اند به دست می‌آید بدون توجه به این که این مقادیر از کدام لایه معیار آمده‌اند (Meng & Others, 2011, page 52).

با توجه که مجموعه وزن‌های ترتیبی به صورت $V = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ است که باید $v_j \in [0, 1]$ برای $j = 1, 2, 3, \dots, n$ و $\sum_{j=1}^n v_j = 1$ باشد اپراتور OWA به

" $Q(p)$ میزان سازگاری p را با مفهوم بیان شده توسط Q را نشان می‌دهد (Boroushaki & Others, 2008, page 403). به طور مثال اگر p برابر 0.34 و مفهوم بیان شده توسط Q برابر با نصف باشد، اگر $Q(p) = 0.75$ شود به این معنی است که 0.34 فقط 0.75 با عبارت مفهومی نصف سازگاری دارد.

ما در این پژوهش یکی از پرکاربردترین کمیت سنج‌های مفهومی نسبی به نام "کمیت سنج‌های یکنواخت افزایشی منظم"، RIM^1 را مورد استفاده قرار دادیم. معادله این کمیت سنج مطابق زیر است:

رابطه ۴

$$Q(p) = p^\alpha \quad \alpha > 0$$

با تغییر در مقدار α ما می‌توانیم مقدار وسیعی از عبارات بیانی در بین دو عبارت حداقل یکی و همه تولید کنیم (Boroushaki & Others, 2008, page 403). در جدول زیر عبارات بیانی متناظر با مقدار α آمده است:

"حداقل یکی از معیارها باید برآورده شود" باشند. این نوع از روش‌ها را ارزیابی چند معیاره هدایت شده با کمیت سنج‌های فازی می‌نامند (محمدرضای رجبی و همکاران، ۱۳۹۰، صفحه ۴). این روش شامل سه گام اصلی می‌شود: (۱) مشخص کردن نوع کمیت سنج Q (۲) تولید کردن وزن‌های ترتیبی مربوط به کمیت سنج Q (۳) محاسبه و ارزیابی مربوط به موقعیت هر کدام از سلول‌ها با استفاده از تابع ترکیبی OWA (محمدرضای رجبی و همکاران، ۱۳۹۰، صفحه ۴).

کمیت سنج‌های مفهومی

به طور کلی کمیت سنج‌های فازی به دو دسته تقسیم می‌شوند: کمیت سنج‌های مطلق و کمیت سنج‌های نسبی. کمیت سنج‌های مفهومی مطلق جملاتی نظیر "بیشتر از ۴" و "تقریباً ۱۰" هستند و آنها را می‌توان به عنوان دسته‌های فازی در فاصله $[0, \infty]$ در نظر گرفت (Boroushaki & Others, 2008, page 403). کمیت سنج‌های نسبی دارای جملاتی با دقت کمتر هستند و آنها را می‌توان در دسته‌های فازی در فاصله واحد $[0, 1]$ در نظر گرفت. جملاتی شبیه "اندکی"، "نصف"، "بیشتر" و غیره از این قبیل هستند (Boroushaki & Others, 2008, page 403).

در واقع از کمیت سنج‌های فازی برای میزان تناسب مجموعه استفاده می‌شود و صفر بیانگر تناسب "۰٪" و یک بیانگر تناسب "۱۰۰٪" است (محمدرضای رجبی و همکاران، ۱۳۹۰، صفحه ۴). اگر Q یک کمیت سنج مفهومی باشد، آنگاه می‌تواند در سرتاسر بازه $[0, 1]$ ارایه شود، که در آن برای هر $p \in [0, 1]$

جدول (۲) مقادیر α متناظر با عبارات بیانی (Boroushaki & Others, 2008, page 403)

عبارت بیانی	حداقل یکی	اندکی	برخی	نصف	بسیاری	اکثر	همه
α	۰/۰۰۰۱	۰/۱	۰/۵	۱	۲	۱۰	۱۰۰۰

جبران کنندگی^۱ و ریسک پذیری^۲

وزن‌های ترتیبی با مقدار جبران کنندگی و ریسک پذیری همراه هستند. اعداد به دست آمده از این دو مفهوم بین صفر و یک هستند (Meng & Others, 2011, page 52). مقدار ریسک پذیری نشان دهنده این است که این عملگر به دست آمده از کمیت سنج مفهومی، تا چه اندازه به عملگر منطقی OR شبیه است (Meng & Others, 2011, page 52). به زبانی ساده‌تر به این معنی است که تا چه حد این عملگر به دست آمده ریسک پذیری دارد و هر چه این عدد به ۱ نزدیک تر باشد ریسک پذیری آن بیشتر است. اگر مقدار ریسک پذیری ۱ شود این عملگر همانند عملگر OR عمل می‌کند. ریسک پذیری این عملگر به خاطر این است که مانند عملگر اجتماع مجموعه‌هاست و بیشترین مقدار پیکسل‌های نقشه‌های ورودی را در نقشه خروجی قرار می‌دهد. این عمل باعث می‌شود ماکزیمم مقادیر در نقشه خروجی ظاهر شوند و همه معیارها در ایجاد نقشه نهایی نقش نداشته باشند و مکان‌های نامناسب برای هدف ما مشخص شوند که باعث ایجاد ریسک در تصمیم‌گیری می‌شود. AHP دارای ریسک پذیری ثابت و نزدیک به صفر است (محمدرضای رجبی و همکاران، ۱۳۹۰، صفحه ۸۱).

مفهوم کمیت سنج‌های مفهومی یک روش برای تولید وزن‌های ترتیبی بر اساس کمیت سنج‌های مفهومی RIM فراهم می‌کند (Boroushaki & Others, 2008, page 404). وزن‌های ترتیبی به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه ۵

$$V_j = \left(\frac{\sum_{k=1}^j u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^\alpha - \left(\frac{\sum_{k=1}^{j-1} u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^\alpha$$

در اکثر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

مجموع وزن‌های معیار برابر ۱ است؛ یعنی $\sum_{j=1}^n W_j = 1$

پس $\sum_{k=1}^n u_k = 1$ است و معادله به صورت زیر تبدیل می‌شود (Boroushaki & Others, 2008, page 404):

رابطه ۶

$$V_j = \left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^\alpha$$

همان‌طور که در بالا مشاهده می‌شود وزن‌های ترتیبی از وزن‌های معیار به دست می‌آیند و با توجه به وزن‌های معیار، W_j و وزن‌های ترتیبی معادله OWA به صورت زیر تبدیل می‌شود:

رابطه ۷

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left[\left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^\alpha \right] z_{ij}$$

1 Trade off

2 ORness

جبران کنندگی کامل است (محمدرضا رجیبی و همکاران، ۱۳۹۰، صفحه ۸۱). اما AHP این ویژگی‌های عملگرهای OWA را ندارد و فرایندی کاملاً جبرانی و با مقدار جبران کنندگی نزدیک به یک است که همه معیارها را بر اساس وزن آنها دخالت می‌دهد (رجیبی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۱). فرمول محاسبه جبران پذیری در زیر آمده است:

رابطه ۹

$$\text{TRADE-off} = 1 - \sqrt{\frac{\sum_r (w_r - 1/n)^2}{n-1}}$$

که در آن n تعداد معیارها، r ترتیب معیارها که به صورت نزولی مرتب شده اند و W_r وزن ترتیبی r ام است (Gorsevski & Others, 2006, page 130).

با توضیح این دو ویژگی بارز است که AHP در هر مسأله دارای جبران کنندگی بالا و ریسک پذیری پایین است.

در جدول زیر آلفای متناظر عبارات بیانی و میزان ریسک پذیری و جبران کنندگی متناظر آمده است.

فرمول محاسبه ریسک پذیری در زیر آورده شده است:

رابطه ۸

$$\text{ORness} = \frac{1}{n-1} \sum_r (n-r) w_r$$

که در آن n تعداد معیارها، r ترتیب معیارها که به صورت نزولی مرتب شده اند و W_r وزن ترتیبی r ام است (Gorsevski & Others, 2006, page 129).

مقدار جبران کنندگی می‌تواند به عنوان اندازه پراکندگی وزن‌های ترتیبی بیان شود. به عنوان مثال اگر بین معیارهای موجود یک معیار که برای مکان یابی اثر منفی دارد، وجود داشته باشد و وجود معیارهای دیگر باعث بشود که مکانی که دارای تقریبی از این معیار منفی است، انتخاب شود، بدین معنی است که معیارهای دیگر برای این مکان اثر معیار منفی را جبران کرده اند. ماکزیمم جبران کنندگی برای زمانی است که وزن‌های ترتیبی به طور یکسان بین معیارها پراکنده شده باشند (Meng & Others, 2011, page 52). میزان جبران کنندگی صفر بیانگر عدم جبران کنندگی و میزان جبران کنندگی یک نشان دهنده

جدول (۳) کمیت سنج‌های مفهومی انتخابی و پارامترهای α مربوط به آن (Meng & Others, 2011, page 52)

α	کمیت سنج (Q)	وزن‌های OWA	عملگر ترکیبی معادل	جبران کنندگی	ریسک پذیری	استراتژی تصمیم‌گیری
۰	حداقل یکی	$v_1=1$ ؛ برای بقیه $v_j=0$	OR(MAX)	۰	۱	کاملاً خوش بینانه
۰/۱	اندکی	*	*	*	*	خیلی خوش بینانه
۰/۵	برخی	*	*	*	*	خوش بینانه
۱	نصف	$V_j=1/n$ برای همه j ها	WLC	۱	۰/۵	طبیعی
۲	بسیاری	*	*	*	*	بدبینانه
۱۰	اکثر	*	*	*	*	خیلی بدبینانه
∞	همه	$V_n=1$ ؛ برای بقیه $v_j=0$	AND(MIN)	۰	۰	کاملاً بدبینانه

* بستگی به وزن‌ها و مقادیر سلول‌ها دارد.

برای درک بهتر این روش در جدول زیر مثالی از روش OWA برای سه مقدار مختلف آلفا آورده شده است.

جدول (۴) مثال عددی روش OWA (Meng & Others, 2011)

OWA _i	Z _{ij} × v _j	v _j	u _j	z _{ij}	w _j	x _{ij}	j	کمیت سنج (Q)
۰/۷	۰/۷	۱	۰/۵	۰/۷	۰/۰۵	۰/۳	۱	حداقل یکی α=۰
	۰	۰	۰/۳۵	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۲	
	۰	۰	۰/۰۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۵	۳	
	۰	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۷	۴	
۰/۴۵۶	۰/۱۷۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷	۰/۰۵	۰/۳	۱	بسیاری α=۲
	۰/۲۳۵	۰/۴۷	۰/۳۵	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۲	
	۰/۰۲۷	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۵	۳	
	۰/۰۱۹	۰/۱۹	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۷	۴	
۰/۰۵	۰	۰	۰/۵	۰/۷	۰/۰۵	۰/۳	۱	همه α=∞
	۰	۰	۰/۳۵	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۲	
	۰	۰	۰/۰۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۵	۳	
	۰/۰۵	۱	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۷	۴	

روش AHP-OWA

با توجه به این که AHP از آرا و نظرات کارشناسان استفاده می‌کند و OWA بر طبق توضیح‌های بالا یک اپراتور تلفیق تقریباً قوی است، با تلفیق این دو روش یک روش تقریباً قدرتمندی در بین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ایجاد می‌شود. برای استفاده از این روش دو مرحله انجام می‌شود (Meng & Others, 2011, page 53): (۱) تشکیل ساختار سلسله مراتبی (۲) محاسبه وزن‌های مربوط به معیارها و زیر معیارها. برای استفاده از OWA با کمیت‌های مفهومی سه مرحله نیاز است (Meng & Others, 2011, page 53): (۱) مشخص کردن نوع کمیت سنج (۲) تولید کردن وزن‌های ترتیبی مربوط به کمیت سنج (۳)

محاسبه و ارزیابی مربوط به موقعیت هر کدام از

سلول‌ها با استفاده از تابع ترکیبی OWA

دو مرحله اول یعنی محاسبه وزن معیارها و زیر معیارها توسط AHP که قبلاً توضیح داده شد انجام می‌شود. برای محاسبه امتیاز هر سلول در لایه نهایی دو مرحله باید انجام شود: ابتدا امتیاز هر سلول در تلفیق لایه زیر معیارها به صورت زیر محاسبه می‌شود: رابطه ۱۰

$$S_{iq} = \sum_{k=1}^l v_{k(q)} \cdot z_{ik(q)}$$

برای همه $q=1, 2, \dots, p$ و $i=1, 2, \dots, m$

رابطه ۱۱

$$v_{k(q)} = \left(\sum_{k=1}^l u_{k(q)} \right)^{\alpha(q)} - \left(\sum_{k=1}^{l-1} u_{k(q)} \right)^{\alpha(q)}$$

نشان داده شده است. در این رابطه μ_i مقدار درجه عضویت هر پیکسل است. با توجه به این که مقادیر درجه عضویت بین صفر و یک هستند، ضرب فازی باعث می‌شود در نقشه نهایی مقادیر پیکسلی خیلی کوچک شوند. در این عملگر همه مقادیر عضویت نقشه‌های ورودی در نقشه خروجی تاثیر داده می‌شوند (کیاورز مقدم، ۱۳۸۴: ۲۷). همچنین عملگر فوق درهنگامی به کار گرفته می‌شود که فاکتورها یکدیگر را تضعیف می‌کنند (کیاورز مقدم، ۱۳۸۴: ۲۷).

رابطه ۱۴

$$\mu_{\text{combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

عملگر جمع فازی: این عملگر مکمل عملگر ضرب فازی است (شاد، ۱۳۸۲: ۸۵). با این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی بزرگ شده و به یک نزدیک می‌شود. بنابراین این عملگر اثر افزایشی دارد. عملگر فوق هنگامی که چند قسمت از شواهد و فاکتورها یکدیگر را تقویت می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرد (شاد، ۱۳۸۲: ۸۵).

رابطه ۱۵

$$\mu_{\text{combination}} = 1 - \left(\prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right)$$

عملگر فازی گاما: این عملگر حالت کلی عملگرهای جمع و ضرب فازی است که رابطه تلفیق آن به صورت زیر است:

رابطه ۱۶

$$\mu_{\text{combination}} = (\text{Fuzzy algebraic sum})^{\delta} \times (\text{Fuzzy algebraic product})^{1-\delta}$$

مقدار گاما بین صفر و یک قابل تعیین است. اگر گاما برابر یک تعیین شود این عملگر به عملگر جمع فازی تبدیل می‌شود و اگر مقدار آن برابر صفر تعیین

که در آن $Z_{ik(q)}$ برابر مقادیر سلول‌های زیر معیار مربوط به هدف (معیار) q ام است که به صورت نزولی مرتب شده‌اند و $u_{k(q)}$ وزن‌های زیر معیار مربوط به هدف q ام به بر حسب $Z_{ik(q)}$ مرتب شده‌اند و $\alpha(q)$ عبارت بیانی مربوط به هدف q ام است (Boroushaki & Others, 2008, page 404).

حال که مقادیر سلول‌های معیارها معلوم شد به وسیله فرمول زیر مقادیر سلول‌های لایه نهایی را به دست می‌آوریم:

رابطه ۱۲

$$\text{AHP-OWA}(i) = \sum_{q=1}^p v_q Z_{iq}$$

برای همه $i=1,2,\dots,m$ و همچنین

رابطه ۱۳

$$v_q = \left(\sum_{q=1}^p u_q \right)^{\alpha(g)} - \left(\sum_{q=1}^{p-1} u_q \right)^{\alpha(g)}$$

که در آن Z_{iq} مقادیر سلول‌های معیار که به صورت نزولی مرتب شده‌اند است. به عبارتی دیگر S_{iq} ‌های مرتب شده و u_q وزن‌های معیاری هستند که بر اساس Z_{iq} مرتب شده‌اند و $\alpha(g)$ عبارت بیانی برای هدف نهایی یا همان جواب مسأله است.

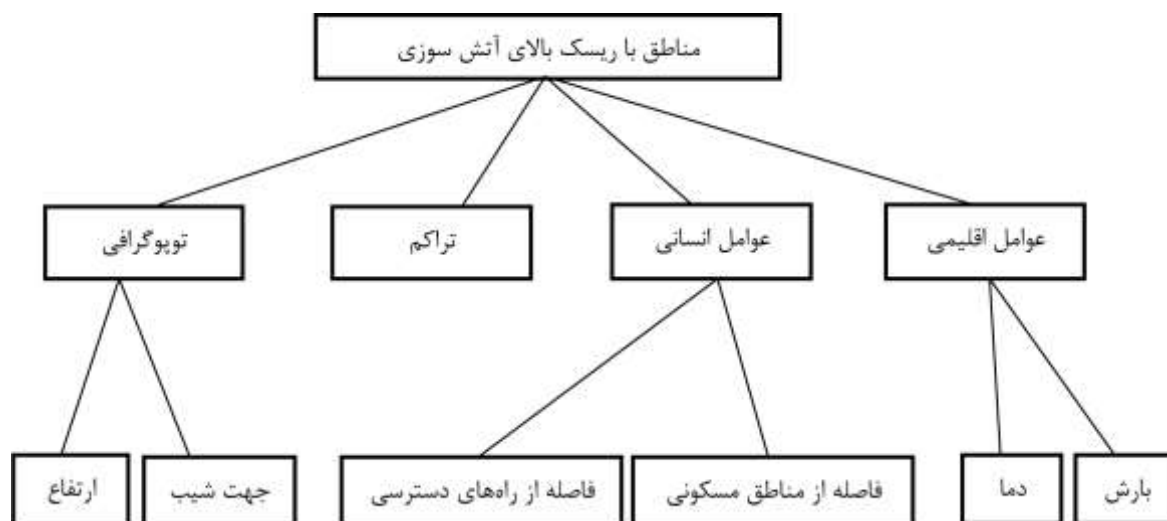
روش تلفیق فازی

برای توضیح فازی گاما باید نسبت به روش‌های جمع و ضرب فازی آشنایت داشته باشیم که در زیر به توضیح آن پرداخته‌ایم.

عملگر ضرب فازی: این عملگر مقادیر درجه عضویت در نقشه‌های معیار مختلف که موقعیت‌های متناظر قرار دارند را در هم ضرب کرده و در نقشه خروجی قرار می‌دهد. این عملگر در رابطه (۳-۴)

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در بحث پهنه‌بندی خطر آتش سوزی جنگل‌ها دو نقشه خطر می‌توان تولید کرد، یکی نقشه پتانسیل حریق و دیگری نقشه گسترش حریق. در این پژوهش نقشه پتانسیل حریق با روش وزن دهی AHP و دو روش تلفیق فازی و میانگین درجه‌ای تهیه شد و در پایان با یکدیگر مقایسه شد. برای نقشه پتانسیل معیارهای برای شیب، ارتفاع، فاصله از راه‌های دسترسی، فاصله از مناطق مسکونی، دما، بارش و تراکم درختان در نظر گرفته شد. ساختار سلسله مراتبی پهنه‌بندی به صورت زیر طراحی شد.



شکل (۲) نمودار ساختار سلسله مراتبی پتانسیل آتش سوزی

نظر هر کارشناس برای هر معیار میانگین حسابی گرفته شد که در جدول زیر وزن‌های نهایی نمایش داده شده است.

شود این عملگر به عملگر ضرب فازی تبدیل می‌شود. انتخاب آگاهانه گاما بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهش و افزایشی دو عملگر ضرب و جمع فازی هستند (شاد، ۱۳۸۲: ۸۵). این عملگر زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی از شواهد کاهش و اثر برخی دیگر افزایشی باشد (شاد، ۱۳۸۲: ۸۵).

ماتریس‌های دوتایی برای معیارها و زیر معیارها تشکیل شده و به وسیله نظرات کارشناسی تکمیل شد. همه این عملیات در نرم افزار Expert Choice 2000 انجام گرفت و در نهایت از وزن‌های به دست آمده از

جدول (۵) وزن معیارها و زیر معیارهای پتانسیل

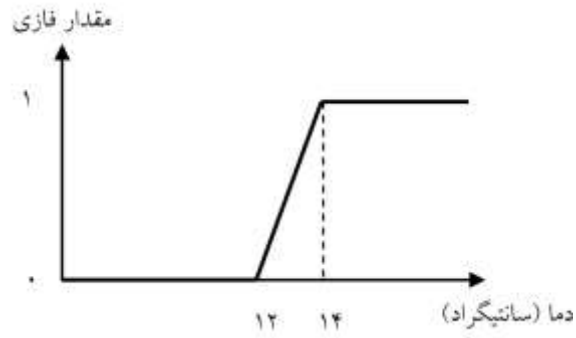
معیارها	وزن معیارها	زیر معیارها	وزن زیر معیارها
عوامل اقلیمی	۰/۱۷۳	دما	۰/۱۲۲
		بارش	۰/۸۷۸
تراکم درختان	۰/۱۸۸		
عوامل انسانی	۰/۵۹۳	فاصله از راه‌های دسترسی	۰/۸۷
		فاصله از مناطق مسکونی	۰/۱۳
توپوگرافی	۰/۰۴۶	جهت شیب	۰/۲۳
		ارتفاع	۰/۷۷

و ارتفاع از مدل رقومی زمین استخراج شد. لایه‌های هم‌دما و هم‌بارش با استفاده از روش IDW درون‌یابی شد و به لایه رستری تبدیل گشت که در قسمت همبستگی توضیح کامل داده شده است. بعد از تولید فایل‌های رستری، باید لایه‌های به دست آمده استانداردسازی شوند. استاندارد سازی به این دلیل است که واحدهای اندازه‌گیری تمام لایه‌ها با هم یکسان نیست. مثلاً واحد لایه جهت شیب بر حسب درجه است و واحد فاصله از مناطق مسکونی متر است و این دو با هم قابل جمع نیستند پس باید دارای واحدهای یکسان شوند که توسط استاندارد سازی لایه‌ها این کار انجام می‌شود. در این پژوهش با استفاده از تابع عضویت فازی خطی که به نرم افزار ArcGIS9.3 اضافه شده بود استفاده شد. که در زیر توابع عضویت برای هر معیار آمده است.

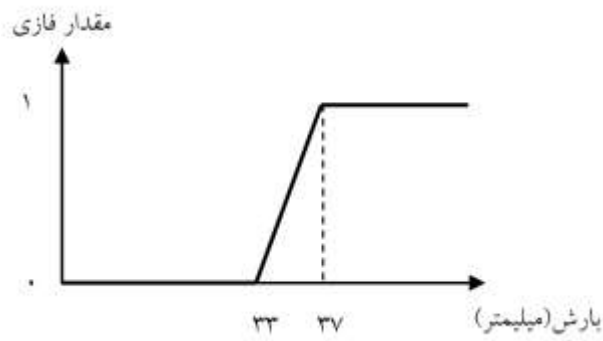
بعد از آماده سازی لایه‌ها و تولید لایه‌های مورد نظر، هر کدام از وزن‌های مربوط به هر لایه، توسط روش‌های تلفیق AHP-OWA و فازی گاما استفاده و با هم تلفیق می‌شوند.

آماده سازی داده‌ها

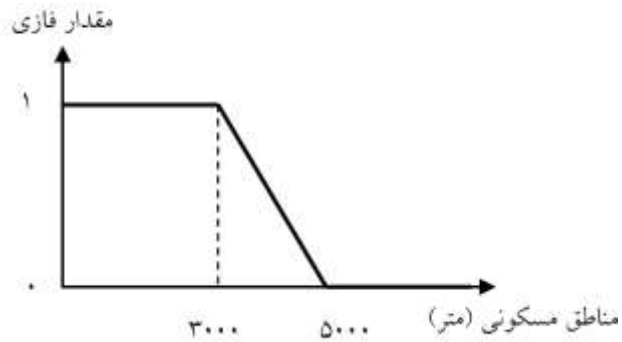
ابتدا لایه‌های مناطق مسکونی و راه‌های دسترسی موجود به وسیله تصویر ماهواره‌ای به هنگام شد. سپس تمامی لایه‌های برداری از نظر GIS Ready کنترل شدند. برای پردازش‌های رستری باید تمامی لایه‌های مورد استفاده به فرمت رستر تبدیل شوند که برای لایه‌های مناطق مسکونی و راه‌های دسترسی از تابع Distance نرم افزار ArcGIS 9.3 استفاده گشت و برای لایه تراکم از ابزار Feature to raster جعبه ابزار Spatial Analyst استفاده شد. لایه‌های برای شیب



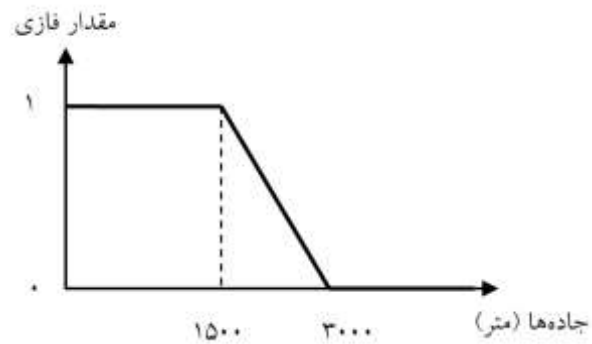
شکل (۳) تابع عضویت فازی دما



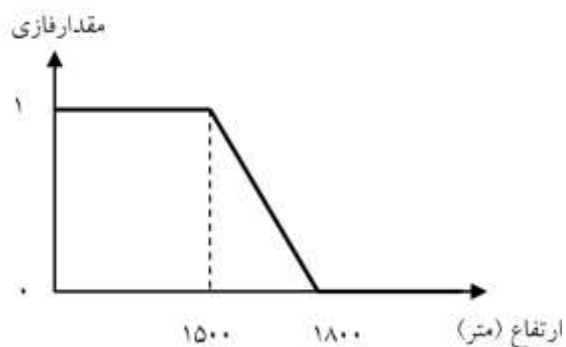
شکل (۴) تابع عضویت فازی بارش



شکل (۵) تابع عضویت فازی مناطق مسکونی



شکل (۶) تابع عضویت فازی راه‌های دسترسی



شکل (۷) تابع عضویت فازی ارتفاع

ستون به نام فازی اضافه شد و مقادیر جدول زیر به صورت متناظر، به لایه رستر تبدیل شدند.

برای فازی سازی لایه‌های جهت شیب باید آن را به فایل برداری (پلیگون) تبدیل کرد. بعد از این مرحله در جدول توصیفی لایه‌های جهت شیب و تراکم یک

جدول (۶) مقادیر فازی جهت شیب

جهت شیب	مقدار فازی
شمال	۰/۱۲۵
شمال شرقی	۰/۲۵
شرق	۰/۵
جنوب شرقی	۰/۷۵
جنوب	۱
جنوب غربی	۰/۸۷۵
غرب	۰/۶۲۵
شمال غربی	۰/۳۷۵

جدول (۷) مقادیر فازی تراکم درختان

تراکم درختان	مقدار فازی
بالای ۷۵ درصد	۱
بین ۵۰ تا ۷۵ درصد	۰/۸
بین ۲۵ تا ۵۰ درصد	۰/۵
بین ۱۰ تا ۲۵ درصد	۰/۳
بین ۵ تا ۱۰ درصد	۰/۲
بین ۱ تا ۵ درصد	۰/۱
فاقد جنگل	۰

روش درون‌یابی

در این جا دو روش Kriging و IDW^۱ مورد بررسی قرار گرفت. در بین روش‌های درون‌یابی، روش Kriging یک روش آماری است. دلایلی در زیر ذکر شده است که به توجه به آنها روش Kriging برای این پژوهش مناسب شناخته نشده است:

پژوهش‌های زیادی در رابطه با روش‌های درون‌یابی و ارزیابی بین آن‌ها انجام شده است که همه آنها بر این نکته تاکید داشته که در استفاده از روش‌های درون‌یابی تعداد و نوع پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده از اهمیت بالایی برخوردار هستند. روش Kriging فقط در مواردی که تعداد نمونه بالا برای افزایش دقت و فواصل بهینه نمونه‌برداری و محل و تعداد نمونه با در نظر گرفتن ساختار مکانی نیاز است، برای کاهش خطا مورد استفاده قرار می‌گیرد (محسن حسینی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵). روش Kriging برای تعداد نمونه کم با تغییرات مکانی زیاد نامناسب بوده و پیشنهاد می‌گردد برای تعداد نمونه کمتر از ۱۰۰ عدد به هیچ وجه مورد استفاده واقع نشود و در صورت نیاز، جهت افزایش کارایی و دقت آن در واحدهای همگن، نمونه‌برداری به صورت جداگانه انجام گردد، به نحوی که برای برآزش مدل واریوگرام، محدودیت نمونه در هر واحد همگن (حداقل ۱۰۰ نمونه) و محدودیت زوج نمونه در هر یک از گام‌های واریوگرام (حداقل ۲۰ زوج داده)، وجود نداشته باشد (حسینی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵). در پژوهشی توسط حبشی و همکاران بهترین روش درون‌یابی برای مشاهدات کم، روش IDW معرفی

شده است که در این حالت Kriging دقت بسیار کمی دارد. این نتیجه با نتایج حسینی‌زاده و همکاران (محسن حسینی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵) مشابه است. عدم تناسب روش Kriging برای درون‌یابی مشاهدات کم با نتایج Van Meirvenne که اجرای این روش را برای تعداد نمونه کم با تغییرات مکانی زیاد نامناسب دانسته است، همسویی دارد (هاشم حبشی و همکاران، ۱۳۸۵). نائوم و تسانیس ۶ روش درون‌یابی در مورد داده‌های بارندگی را در منطقه همیلتون-ونتورس کانادا به ابعاد ۸×۸ کیلومتر در مورد ۹ ایستگاه مورد بررسی قرار داده و روش‌های IDW و Kriging را به ترتیب به عنوان بهترین و بدترین روش‌ها ارائه داده‌اند (محسن حسینی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به این که روش IDW از معکوس فاصله بین نقاط بتوان‌های مختلف، برای محاسبه ارتفاع نقطه مجهول استفاده می‌کند، در این پژوهش معکوس فاصله برای توان‌های ۱ و ۲ و ۳ پیاده‌سازی شد و با استفاده از نقاط چک جواب توان‌های مختلف ارزیابی گردید که برای لایه بارش و دما توان ۲ دارای کمترین خطا بود.

محاسبه همبستگی

برای تعیین نقش عوامل اقلیمی (دما و بارش) در آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در منطقه از همبستگی بین این دو عامل استفاده شد به این صورت که از ۹ ایستگاه هواشناسی در اطراف منطقه مورد مطالعه استفاده شد و برای هر ماه از سال‌های ۸۵ تا ۸۹ به روش IDW دورن‌یابی انجام شد و لایه شبکه‌ای آن ایجاد شد، سپس منطقه مورد مطالعه از این لایه

به عنوان میانگین ۵ ساله عامل اقلیمی (دما یا بارش) در نظر گرفته شد. چندین همبستگی بین عامل اقلیمی و آتش سوزی‌های موجود محاسبه شد که در جدول ۸ آمده است.

استخراج شد. از کل پیکسل‌های هر لایه استخراج شده میانگین گرفته شد و به عنوان میانگین عامل اقلیمی (دما یا بارش) منطقه در آن ماه از سال در نظر گرفته شد. پس از انجام این عمل برای همه ماه‌های سال ۸۵ تا ۸۹، میانگین هر ماه از ۵ سال گرفته شد و

جدول (۸) همبستگی میان تعداد آتش سوزی‌های اتفاق افتاده در ۵ سال متوالی و عوامل اقلیمی دما و بارش

همبستگی بارش فصل بهار با آتش سوزی فصل پاییز
۰/۹۶۲۶
همبستگی دمای فصل پاییز با آتش سوزی فصل پاییز
۰/۹۵۸۶
همبستگی بارش ۵ سالانه با آتش سوزی ۵ ساله
-۰/۱۶۲۰
همبستگی دمای ۵ سالانه با آتش سوزی ۵ ساله
۰/۲۳۲۵

ماه	بارش ۵ سال	دما ۵ سال	تعداد آتش سوزی ۵ سال
فروردین	۶۸/۹۷	۱۲/۵۶	۰
اردیبهشت	۳۸/۸۱	۱۸/۱۱	۰
خرداد	۰/۶۷	۲۴/۸۷	۱
تیر	۰	۲۹/۰۲	۲
مرداد	۰/۳۱	۲۹/۴۹	۳
شهریور	۶/۶۳	۲۶/۱۷	۶
مهر	۲۴/۳۲	۲۰/۴۱	۲۵
آبان	۵۳/۷۲	۱۴/۴۳	۱۰
آذر	۴۱/۳۱	۶/۴۸	۳
دی	۳۸/۶۹	۳/۳۱	۰
بهمن	۷۹/۶۲	۴/۴۴	۰
اسفند	۴۵/۸۳	۸/۸۳	۰

رابطه ۱۸

$$QS = \sum_{i=1}^n ((DR-1) \times S)^2$$

که در آن Dr نسبت تراکمی و S نسبت مساحت هر رده خطر به مساحت کل منطقه و n تعداد رده‌های خطر است.

در این پژوهش داده‌های آتش سوزی موجود از سنجنده مودیس به دست آمده است و چون ابعاد پیکسل این سنجنده در باند حرارتی برابر ۱ کیلومتر است، از داده‌های موجود یک بافر به شعاع ۱۰۰۰ متر زده شد تا برای هر آتش سوزی محدوده به قطر دو کیلومتر را پوشش دهد. برای ارزیابی ما، این محدوده را به عنوان یک پهنه خطر موجود در نظر گرفته و به وسیله جمع کیفی (QS) به ارزیابی روش‌ها پرداختیم. در ارزیابی بین روش‌ها هر چه QS دارای مقدار بیشتری باشد روش مورد نظر از مطلوبیت بیشتری برخوردار است (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۳). البته برای ارزیابی نهایی نباید تنها به این فاکتور محدود شود و باید دقت پهنه‌های خطر نیز بررسی شود این بررسی توسط پارامتری به نام دقت روش که با حرف p نمایش داده می‌شود، انجام می‌گیرد. رابطه دقت روش در زیر آمده است.

رابطه ۱۹

$$P = KS/S$$

که در آن KS مساحت پهنه آتش سوزی موجود در پهنه خطر مورد نظر و S مساحت کل پهنه مورد نظر است.

با توجه به مطالعات انجام شده بیشترین عامل آتش سوزی عامل انسانی بوده است و به خاطر پوشش درختی بلوط، که درختی مقاوم در برابر آتش است، در این منطقه آتش سوزی بیشتر از سطح زیرین جنگل آغاز شده و در صورت ادامه به تاج درختان می‌رسد. به خاطر بارش مناسب در فصل بهار این منطقه و رشد خوب پوشش زیرین در آن فصل و همچنین کمی بارش در فصل تابستان و خشک شدن این پوشش، ماده سوختنی را برای فصل پاییز مهیا می‌شود. این نتیجه گیری در آمارهای آتش سوزی و همبستگی آنها نیز مشهود است. با توجه به همبستگی‌های به دست آمده میانگین بارش فصل بهار و میانگین دمای فصل پاییز در پهنه‌بندی خطر استفاده گشت. این میانگین از سه لایه ماهانه مورد نظر به صورت میانگین پیکسل‌های روی هم در هر سه لایه محاسبه شد و در پهنه‌بندی خطر شرکت داده شد.

ارزیابی روش‌های فازی و $AHP-OWA$ با استفاده از روش جمع کیفی (QS):

بررسی جمع کیفی روش‌ها براساس فرمول زیر انجام گرفت:

رابطه ۱۷

$$Dr = \frac{\frac{S_i}{A_i}}{\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n A_i}}$$

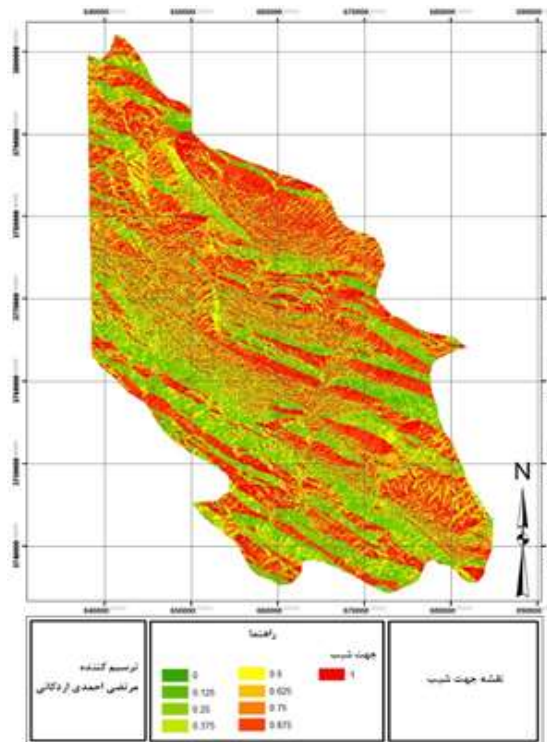
که در آن S_i مساحت آتش سوزی موجود واقع در هر پهنه خطر، A_i مساحت هر یک از پهنه‌های خطر و n تعداد پهنه‌های خطر است.

بحث و نتایج

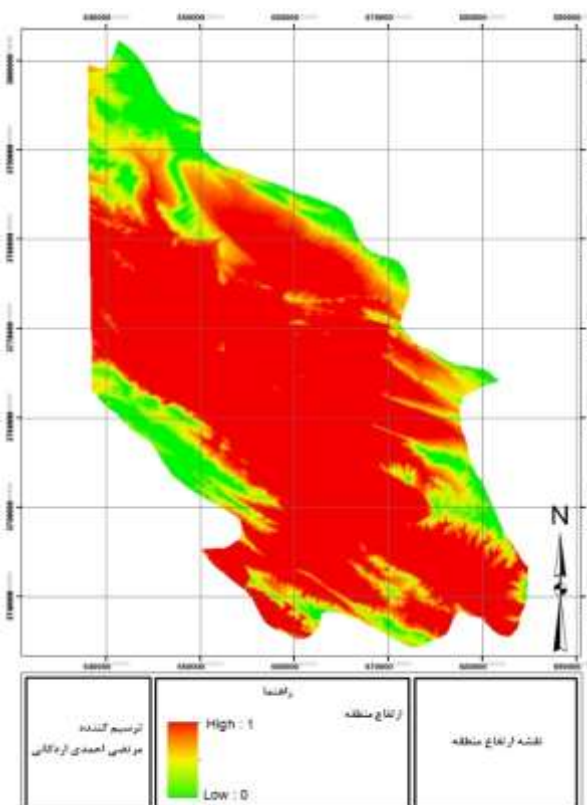
به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مختلفی استفاده نمود. به طور قطع نمی‌توان یک روش تصمیم‌گیری را برتر از همه روش‌ها بیان نمود. روش فازی یک روش قوی برای حل این گونه مسایل است که دارای ۵ عملگر اجتماع فازی، اشتراک فازی، ضرب فازی، جمع فازی و فازی گاما است. در بین این روش‌ها فازی گاما از قدرت بیشتری برخوردار است به شرط این که برخی از فاکتورهای موجود در تصمیم‌گیری یکدیگر را تقویت و برخی دیگر یکدیگر را تضعیف کنند. اگر تمامی فاکتورهای یک تصمیم‌گیری همدیگر را تقویت کنند، جمع فازی جواب مطلوب‌تری نسبت به فازی گاما ارائه می‌دهد. این مفهوم برای ضرب فازی نیز صادق است. در این پژوهش با توجه به اثرات کاهشی و افزایشی فاکتورهای تصمیم‌گیری، روش فازی گاما را که بین دو حالت ضرب و جمع فازی جابه‌جا می‌شود را با روش AHP-OWA که بین

دو عملگر اجتماع و اشتراک فازی جابه‌جا می‌شود، مقایسه گردید. در روش فازی گاما، با افزایش گاما که همان حرکت به سوی جمع فازی است، نقشه‌های حاصله دارای مطلوبیت بیشتری می‌شوند. روش AHP-OWA علاوه بر استفاده از وزن‌های معیار، از وزن‌های ترتیبی نیز استفاده می‌کند، این روش با آلفاهای مختلف بین دو عملگر اجتماع و اشتراک جابه‌جا می‌شود و نقشه‌هایی با میزان اجتماع و اشتراک مختلف تولید می‌کند. برای مقایسه بین این دو روش از روش جمع کیفی استفاده شد که بر مبنای مقایسه میزان مساحت مشترک بین داده‌های موجود با مناطق طبقه‌بندی شده مختلف است.

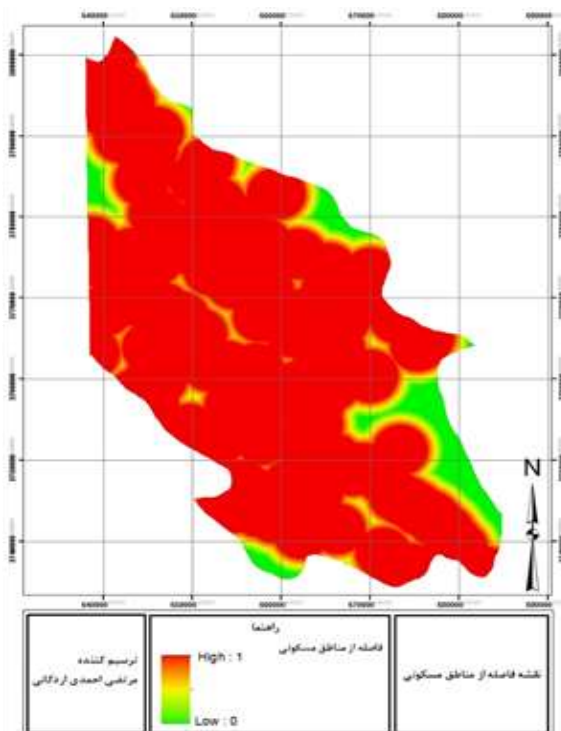
در این قسمت تمامی لایه‌های تولید شده و لایه‌های نهایی حاصل از دو روش نمایش داده شده و با استفاده از داده‌های موجود به مقایسه بین آن دو پرداخته شده است. لایه‌های معیار فازی شده در شکل‌های شماره ۸ تا ۱۴ نشان داده شده است.



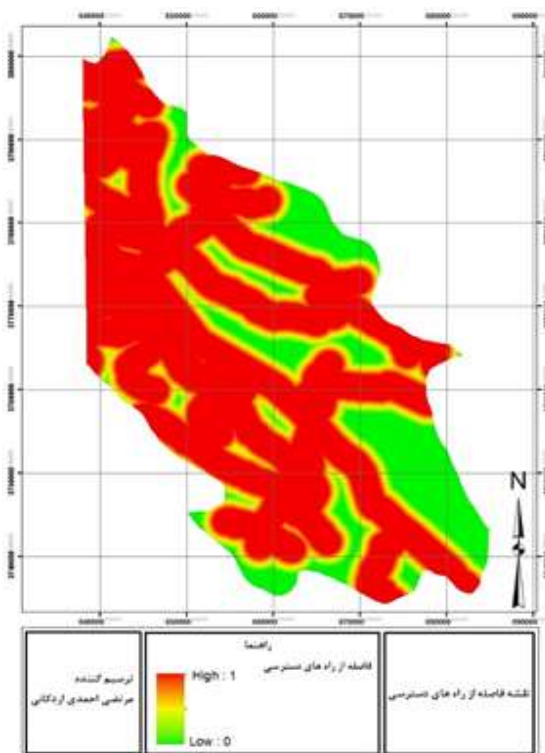
شکل (۸) نقشه جهت شیب



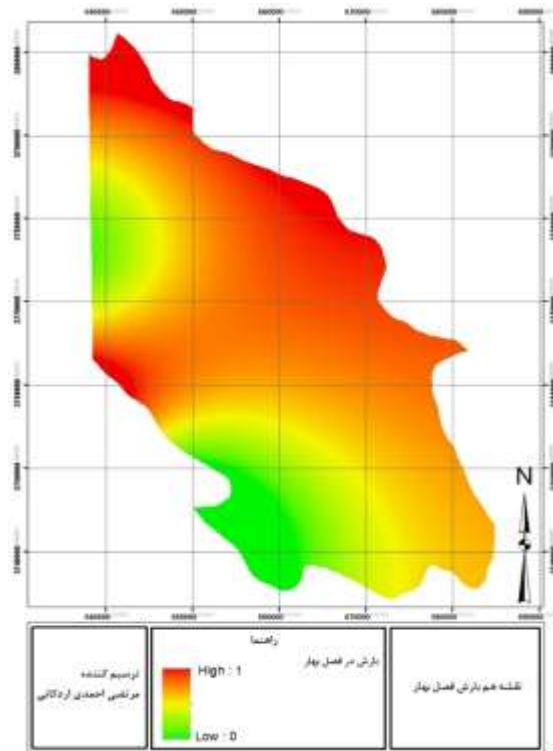
شکل (۹) نقشه ارتفاع منطقه



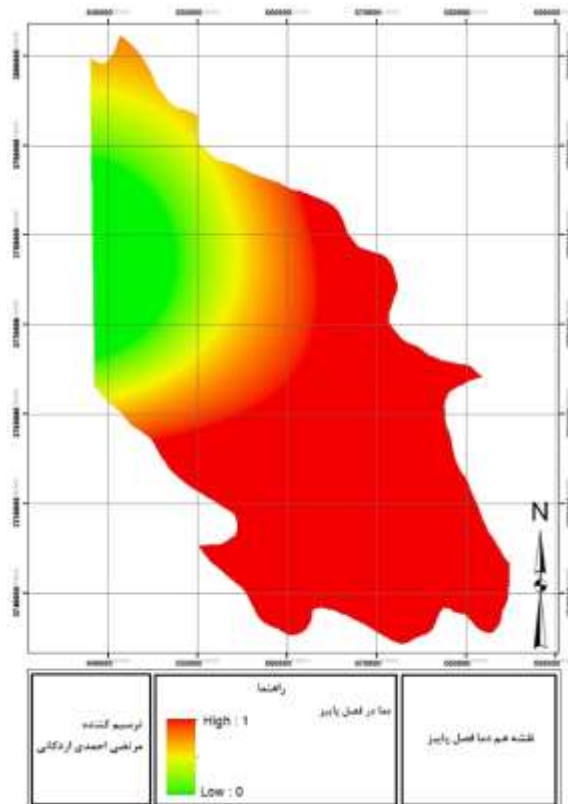
شکل (۱۰) نقشه فاصله از مناطق مسکونی



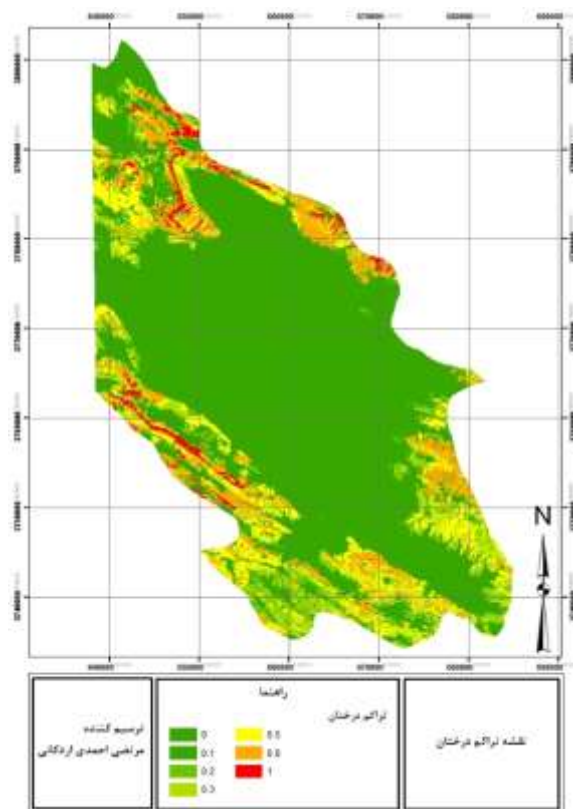
شکل (۱۱) نقشه فاصله از راه‌های دسترسی



شکل (۱۲) نقشه هم بارش فصل بهار



شکل (۱۳) نقشه هم بارش فصل پاییز



شکل (۱۴) نقشه تراکم درختان

توضیح داده شد و جداول مربوطه در زیر آمده است.. برای روش AHP-OWA نیز لایه‌های معیار فازی شده وارد برنامه AHP-OWA که توسط نگارنده در محیط متلب نوشته شده بود، گردید و با اعمال وزن‌های AHP که در مرحله قبل به دست آمده بود، نقشه‌هایی با آلفاهای متفاوت تولید شد که برای انتخاب بهترین آن همانند روش فازی گاما عمل شد. به دلیل تنوع زیاد لایه‌های تولیدی، در زیر فقط لایه‌های نزدیک به واقعیت و جداول آنها آورده شده است.

پس از تهیه لایه‌های فازی برای هر معیار، وزن‌های به دست آمده از روش AHP را در لایه فازی شده ضرب کردیم و با استفاده از گاما‌های مختلف بین ۰ و ۱ نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی تولید شد و نقشه‌های نهایی تولید شده را به ۴ کلاس کم خطر (مقادیر بین ۰ تا ۰/۲۵)، متوسط خطر (مقادیر بین ۰/۲۵ تا ۰/۵)، پرخطر (مقادیر بین ۰/۵ تا ۰/۷۵) و بسیار پرخطر (مقادیر بین ۰/۷۵ تا ۱) تقسیم کردیم. برای تعیین بهترین نقشه روش فازی گاما از داده‌های آتش سوزی موجود استفاده کردیم که در قسمت ارزیابی روش‌ها

جدول (۹) روش فازی با گامای ۰/۹ با AHP

طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه	درصد طبقات	مساحت آتش اتفاق افتاده	درصد آتش اتفاق افتاده	QS
کم خطر	۳۴۷/۱۳۷	۵۲/۹۳	۱۷/۲۳۴	۳۸/۸۶	۰/۰۳۷۴
متوسط خطر	۵۲/۱۳۱	۷/۹۵	۳/۷۲۶	۸/۴۰	۰/۰۰۰۳
پر خطر	۱۷۳/۷۴۴	۲۶/۴۹	۱۷/۶۴۰	۳۹/۷۸	۰/۰۶۶۶
بسیار پرخطر	۸۲/۸۷۴	۱۲/۶۳	۵/۷۴۹	۱۲/۹۶	۰/۰۰۰۱
جمع	۶۵۵/۸۸۶	۱۰۰	۴۴/۳۴۹	۱۰۰	۰/۱۰۴۴

جدول (۱۰) روش AHP-OWA با آلفای ۴

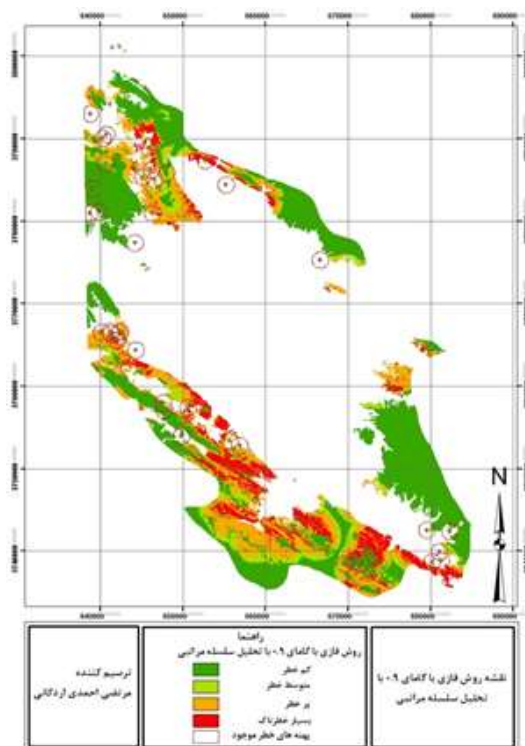
طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه	درصد طبقات	مساحت آتش اتفاق افتاده	درصد آتش اتفاق افتاده	QS
کم خطر	۲۰۷/۶۴۳	۳۱/۶۶	۴/۵۸۱	۱۰/۳۳	۰/۱۴۳۷
متوسط خطر	۱۸۰/۵۸۵	۲۷/۵۳	۱۶/۳۶۵	۳۶/۹۰	۰/۰۳۱۹
پر خطر	۲۰۷/۷۸۸	۳۱/۶۸	۱۶/۸۴۷	۳۷/۹۹	۰/۰۱۲۶
بسیار پرخطر	۵۹/۸۷۰	۹/۱۳	۶/۵۵۶	۱۴/۷۸	۰/۰۳۵۰
جمع	۶۵۵/۸۸۶	۱۰۰	۴۴/۳۴۹	۱۰۰	۰/۲۲۳۲

جدول (۱۱) مقایسه بین روش‌های تلفیق فازی با گاماهای متفاوت

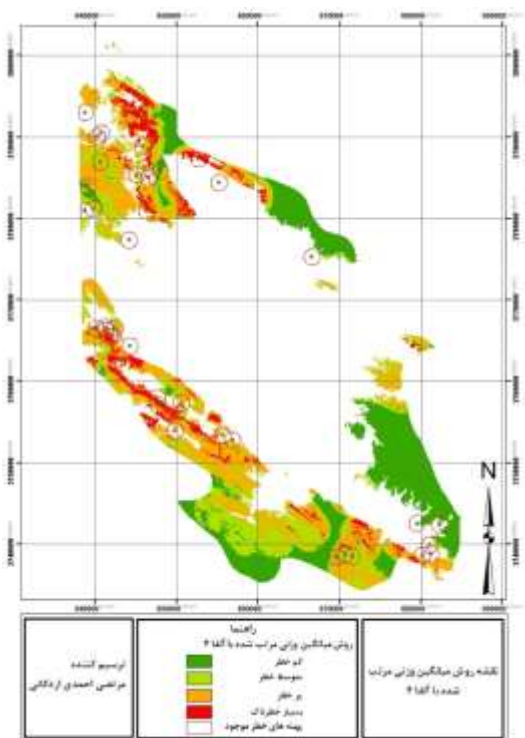
روش	دقت پهنه بسیار پرخطر	رتبه	دقت پهنه پرخطر و بسیار پرخطر	رتبه	QS	رتبه
گامای ۰/۹ با AHP	۰/۰۶۹۳	۲	۰/۰۹۱۱	۱	۰/۱۰۴۴	۲
گامای ۰/۸۵ با AHP	۰/۰۵۵۶	۳	۰/۰۸۴۷	۳	۰/۰۹۶۸	۵
گامای ۰/۹ بدون AHP	۰/۰۷۰۳	۱	۰/۰۸۶۱	۲	۰/۱	۴
گامای ۰/۸۵ بدون AHP	۰/۰۴۹۹	۴	۰/۰۸۳۴	۵	۰/۱۰۹۱	۱

جدول (۱۲) مقایسه بین روش‌های تلفیق AHP-OWA با آلفاهای متفاوت

روش	دقت پهنه بسیار پرخطر	رتبه	دقت پهنه پرخطر و بسیار پرخطر	رتبه	QS	رتبه
آلفا ۰/۵	۰/۰۹۳۵	۶	۰/۰۷۴۰	۶	۰/۲۶۲۱	۳
آلفا ۱	۰/۰۹۷۰	۴	۰/۰۹۱۵	۲	۰/۲۸۴۶	۱
آلفا ۲	۰/۰۹۶۷	۵	۰/۰۹۳۴	۱	۰/۲۶۹۹	۲
آلفا ۴	۰/۱۰۹۵	۲	۰/۰۸۷۴	۳	۰/۲۲۳۲	۵
آلفا ۵	۰/۱۰۵۶	۳	۰/۰۸۵۴	۵	۰/۲۴۸۰	۴
آلفا ۶	۰/۱۱۲۳	۱	۰/۰۸۶۸	۴	۰/۲۰۲۸	۶



شکل (۱۵) نقشه روش فازی با گامای ۰/۹ با AHP



شکل (۱۶) نقشه روش میانگین وزنی مرتب شده با آلفای ۴

نتیجه‌گیری

با توجه به جمع کیفی و دقت روش‌های ارائه شده برای پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر در روش فازی با گام‌های متفاوت به این نتیجه می‌رسیم که روش فازی با گامای ۰/۹ و تاثیر وزن‌های AHP، روش پهنه تری نسبت به روش‌های فازی با گام‌های دیگر است که ۵۲/۷۴ درصد از پهنه‌های آتش سوزی در دو طبقه پرخطر و بسیار پرخطر این روش قرار گرفته‌اند، با توجه به این که پهنه پرخطر به بالا دارای ارزش پیکسلی بالای ۰/۵ هستند دارای اهمیت کمتری نسبت به پهنه بسیار پرخطر با ارزش پیکسلی بالای ۰/۷۵ است. با ملاحظه در دقت‌های محاسبه شده در روش AHP-OWA و جمع کیفی مربوط به آن، روش AHP-OWA با آلفای ۴ روش مناسبی برای تهیه نقشه مناطق با ریسک بالا محسوب می‌شود که ۵۲/۷۷ درصد از پهنه‌های آتش سوزی موجود در پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر این روش قرار گرفته‌اند. حال با مقایسه بین روش فازی با گامای ۰/۹ و AHP-OWA با آلفای ۴، بهترین دقت و QS به دست آمده برای روش AHP-OWA با آلفای ۴ است که علاوه بر قرار گرفتن درصد قابل توجهی از پهنه‌های آتش سوزی موجود در پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر، QS این روش مقدار بالاتری را نسبت به روش فازی گاما نشان می‌دهد که بیانگر تفکیک بهتر بین پهنه‌های خطر و در نتیجه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر با دقت بالاتری تولید می‌شود. این موضوع در شکل‌های شماره ۱۵، ۱۶ مشهود است.

منابع

- احمدی گیوی، امین (۱۳۸۸)، مکان یابی عرصه‌های استقرار صنعت پتروشیمی در استان فارس با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
- اکبری، داود؛ امینی جلال؛ سعادت سرشت، محمد؛ (۱۳۸۶)، ارائه مدلی ساده و سریع برای تهیه نقشه ریسک آتش سوزی در نواحی جنگلی، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، قطب علمی مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی دانشگاه تهران
- حبشی، هاشم؛ حسینی، سید محسن؛ شتایی، شعبان؛ محمدی، جهانگرد. (۱۳۸۵). ارزیابی دقت و صحت روش‌های درونیابی در تخمین ازت کل خاک با استفاده از GIS. سومین همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی.
- حسینعلی، فرهاد (۱۳۸۵)، درجه بندی و وزن دهی اتوماتیک لایه‌های اطلاعاتی در سامانه‌های اطلاعات مکانی، رجبی، محمدعلی، دانشکده فنی دانشگاه تهران، گروه مهندسی نقشه برداری
- حسینعلی‌زاده، محسن؛ ایوبی، شمس ا...؛ شتایی، شعبان (۱۳۸۵). مقایسه روش‌های مختلف درونیابی در برآورد برخی خصوصیات خام سطحی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مهر سبزوار). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد سیزدهم، شماره پنجم.
- رجبی، محمدرضا؛ منصوریان، علی؛ طالعی، محمد (۱۳۹۰)، مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP، AHP_OWA، FuzzyAHP-OWA

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده
نقشه برداری
شیرانی، کوروش؛ سیف، عبدالله؛ علیمرادی، مسعود
(۱۳۹۰)، صحت سنجی روش تحلیل سلسله
مراتبی (AHP) و رگرسیون چند متغیره (MR) در
پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به کمک تکنیک
(GIS) (مطالعه موردی: حوضه رودخانه ماربر)،
مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، شماره مسلسل،
سال یکم، شماره سوم، زمستان ۸۹، صفحات
(۱۰۸-۹۱).

برای مکان‌یابی مجتمع‌های مسکونی در شهر تبریز،
محیط‌شناسی، ۱۰۲۵-۸۶۲۰، دوره سی و هفتم،
شماره ۱ (۵۷ محیط‌شناسی)، بهار ۹۰، صفحات
(۷۷-۹۲)
کیاورد مقدم، حمید، (۱۳۸۴)، مسیریابی بهینه خطوط
لوله گاز به کمک سیستم‌های اطلاعات مکانی
(GIS)، دلاور، محمدرضا، دانشکده فنی دانشگاه
تهران، گروه مهندسی نقشه برداری
شاد، روزبه (۱۳۸۲)، طراحی و اجرای یک سیستم
اطلاعات جغرافیایی کاربردی با تاکید بر مدلسازی
نیازهای وزارت صنایع و معادن، عبادی، حمید،

